

氏名	あおきかずや 青木 一也
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	工博第2627号
学位授与の日付	平成18年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科都市社会工学専攻
学位論文題目	確率的劣化予測手法を用いた最適補修戦略に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 小林 潔司 教授 谷口 栄一 教授 大津 宏康

論文内容の要旨

本論文は、土木施設のアセットマネジメントに着目し、点検によって取得される実測データから、土木構造物の確率的劣化過程を統計的にモデル化する方法を提案するとともに、ライフサイクル費用の最小化に資するような最適補修政策を導出するための方法論を提案したものであり、8章からなっている。

第1章は序論であり、本研究を取り纏める背景及び目的を明らかにしている。また、アセットマネジメントの全体構造を整理したうえで、劣化予測モデルの重要性と最適補修戦略モデルの概念を明らかにし、本研究の基本的考え方を示した上で、各章の位置付けを明確にしている。

第2章では、劣化状態が故障の有無という2値で表されるような土木施設を対象として、劣化ハザードモデルにより施設の劣化予測を行う方法を提案している。そのとき、モニタリングによる獲得できる劣化状態の情報が異なることを指摘し、それぞれ異なるスキームによって取得可能な情報を対象とした劣化ハザードモデルを推計する方法論を提案している。また、提案した劣化予測モデルをトンネル照明という道路付帯施設の劣化予測問題に適用しモデルの有用性を検証したものである。なお、本モデルは、トンネル照明の他に、多くの土木施設の劣化予測モデルに適用可能であり、汎用性の高い内容となっている。

第3章では、多段階の健全度で表現される橋梁部材の統計的劣化予測のためのマルコフ推移確率を推計する方法論を提案した。その際、橋梁部材の健全度を複数の健全度で表すとともに、健全度間の推移確率を、多段階指数ハザードモデルを用いて表現している。さらに、定期検査データに基づいて多段階指数ハザードモデルを最尤推計する方法論を提案している。ここで提案した多段階指数ハザードモデルにより、マルコフ推移確率を任意の時間間隔に対して時間整合的に推計することが可能となった。さらに、鋼橋を対象とした適用事例を通じて、マルコフ推移確率の推計方法の有用性を実証的に検証している。

第4章では、施設の劣化過程が複数のレーティングで表現されるとともに、使用時間が劣化の進展速度に影響を及ぼすような土木施設の劣化予測モデルを開発している。土木施設の健全度を複数のレーティング指標で表すとともに、健全度間の推移確率を、多段階ワイブルハザードモデルを用いて表現した。さらに、目視点検データに基づいて多段階ワイブルハザードモデルを最尤推計する方法論を提案している。さらに、提案した方法論により、構造特性や使用環境、使用時間が異なる異質な検査データを用いて、それぞれの土木施設の劣化過程特性を非集計的に推計することが可能となる。また、開発した方法論を用いて、高速道路上に設置されている照明灯具を対象とした適用事例を通じて、多段階ワイブル劣化ハザードモデルの有用性を実証的に検証している。

第5章では、多数の同種の施設で構成される土木施設システムの点検・更新プロセスを集計的マルコフ過程モデルで表現し、最適点検・更新政策を決定する手法論を提案している。具体的には、トンネル照明システムを取り上げ、照明ランプの点検・更新間隔と最大使用時間長という2つの管理変数が、ライフサイクル費用及び不点リスクに及ぼす影響を分析するた

めの最適点検・更新モデルを定式化している。本章で提案した費用—リスク曲線は、ライフサイクル費用とリスクの関係を定量的に示したものであり、施設管理者が費用—リスク曲線を用いて管理基準値や最適な点検・更新政策を決定することが可能になった。

第6章では、施設の健全度が複数のレーティングで評価されるような施設を対象とした最適補修政策を導出する手法論を提案した。さらに、劣化過程が使用時間に依存して変化するような施設を対象として、その劣化過程を多段階ワイブル劣化ハザードモデルにより記述し、システム全体の劣化・補修過程を集計的マルコフ過程モデルで表現する方法論を提案した。その上で、ライフサイクル費用とリスク管理水準の関係を定量的に示す方法を開発している。その上で、施設の故障リスクを管理水準として与えた場合に、ライフサイクル費用を最小にするような、システムの最適点検・補修・更新政策を同時に求めるような最適点検・補修・更新モデルを提案している。さらに、トンネル照明灯具システムを対象として、その有効性を実証的に検証している。

第7章では、第2章から第6章までの研究成果をインフラの管理者の実務を支援するためのアセットマネジメントシステムとして設計し、そのアプリケーションを開発している。さらに、道路付帯施設システムを適用事例として、その有用性を実証的に分析している。

第8章は結論であり、本論文で得られた成果について要約し、今後の課題をとりまとめている。

論文審査の結果の要旨

土木構造物のアセットマネジメントにおいては、土木構造物の劣化過程をモデル化し、将来時点に発生する補修需要やライフサイクル費用を予測する方法論が必要となる。本研究では、点検によって取得される実測データから、土木構造物の確率的劣化過程を予測するためのハザードモデルを開発するとともに、ライフサイクル費用の最小化に資するような最適補修政策を導出するための方法論を提案したものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

- 1) 劣化状態が故障の有無という2値状態で表されるような土木施設の劣化予測を目的とした劣化ハザードモデルを提案し、トンネル照明ランプを対象としてその有効性を検証した。さらに異なるモニタリングスキームによる点検データを対象としたハザードモデルの推計法を開発するとともに、モニタリングスキームが推計精度に与える影響について分析した。
- 2) 健全度が複数のランキング指標で表現されるような土木構造物の劣化過程を多段階指数ハザードモデルで表現し、劣化過程をマルコフ推移確率行列で表現する方法論を開発した。さらに、点検データのサンプル数と推計精度の関係を分析し、推移確率の推計に必要なサンプル数について分析した。
- 3) 土木構造物の劣化過程が使用時間に依存するような非斉次マルコフ推移確率を推計するための多段階ワイブル劣化ハザードモデルを開発するとともに、その推計方法を提案した。さらに、照明灯具を対象とした実証分析を通じて、その有効性を実証的に検証した。
- 4) 確率的劣化予測モデルを用いて、多くの土木施設を同時に管理することを目的とした最適点検補修更新モデルを定式化するとともに、ライフサイクル費用と劣化リスク水準のトレードオフの関係を分析する方法論を開発した。さらに、道路付帯施設を対象とした実証分析によりその有効性を検証した。
- 5) 道路付帯施設システムを対象とした実用的なアセットマネジメントシステムを設計するとともに、それを支援するアプリケーションソフトを開発し、実務への適用を通じてその実用性を検証した。

以上要するに、本論文は土木施設の確率的劣化予測モデルを提案するとともに、ライフサイクル費用の最小化をめざした最適点検補修政策を求めるための方法論を開発したものであり、理論上・実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。